

Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов
«Обработка материалов: современные проблемы и пути решения»

К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ МАССОВОГО БЫСТРОСМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.И. Петрушин, д.т.н., проф., Р.Х. Губайдулина, к.т.н., доц., Ш.С. Норзидоза, студент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (8384-51)7-77-61

E-mail: victory_28@mail.ru

Введение

В соответствии со сложившейся традицией технологического проектирования критерием выбора того или иного варианта способа обработки и применяемого оборудования служит понятие серийности производства (единичное, серийное и массовое). Согласно стандарту, тип производства выбирается на основе так называемого коэффициента закрепления операций, представляющего собой отношение числа различных технологических операций, подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест, на которых выполняются данные операции. Эта оценка, на наш взгляд, имеет существенный недостаток, а именно: в самом начале технологического проектирования инженеру-технологу неизвестно количество операций в технологическом процессе, а также число рабочих мест. Эти значения должны быть им определены в процессе последующего проектирования, поэтому в назначении типа производства, от которого зависят дальнейшие принципиальные решения, имеется существенный произвол.

1. Определение оптимальной годовой программы выпуска изделий

При проектировании технологии изготовления машины в качестве базовых исходных данных фигурирует кроме конструкции изделия и годовая программа выпуска в штуках. Если конструкторская документация на машину должна быть разработана на предшествующей стадии жизненного цикла изделий (ЖЦИ), то вопрос определения размера оптимальной серии машин или партии изделий остаётся открытым. При плановой экономике, которая существовала в России ранее, программа выпуска назначалась исходя из государственных потребностей и интересов всего населения. С переходом на рыночные отношения в условиях конкуренции эта задача приобретает особую актуальность, так как с одной стороны количество выпущенных и реализованных изделий должно возместить затраты на организацию их производства, а с другой – принести определенную прибыль собственнику предприятия без перепроизводства этих изделий. Поэтому ошибки в назначении величины программы выпуска могут привести к негативным последствиям вплоть до банкротства предприятия.

Проведём анализ производственной программы машиностроительного предприятия на основе графиков рентабельности [1], которые строятся в координатах «программа выпуска изделий – стоимость» (рис.1). Общие затраты на выпуск изделий определённого типа $Z_{\text{и}}$ складываются из первоначальных капитальных вложений $K_{\text{и}}$, необходимых для организации производства новых машин, и текущих затрат (себестоимости) на изготовление изделий согласно формулы:

$$Z_{\text{и}} = K_{\text{и}} + C_{\text{и}} \cdot N, \text{ у.е.с.}, \quad (1)$$

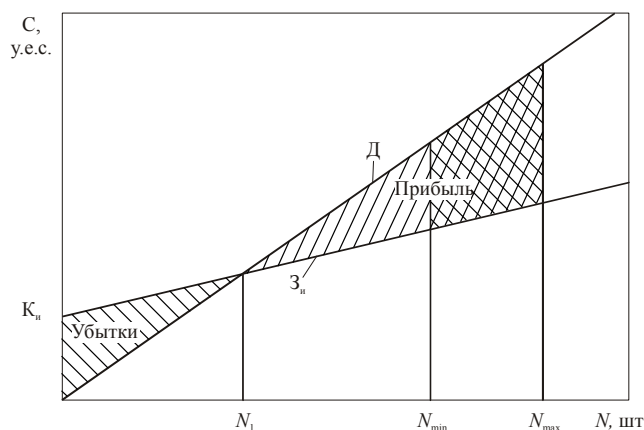


Рис. 1. График рентабельности выпуска изделий

где $C_{\text{и}}$ – себестоимость одного изделия в условных единицах стоимости (у.е.с.); N – текущая производственная программа выпуска, шт.

Зависимости (1) соответствует линия общих затрат (см. рис.1), которая при $C_{\text{и}} = \text{const}$ представляет собой прямую линию.

С другой стороны, общий доход предприятия D от реализации производимых изделий прямо пропорционален программе их выпуска:

$$D = C_{\text{и}} \cdot N, \quad (2)$$

где $C_{\text{и}}$ – продажная цена изделия, у.е.с.

При определённом количестве вы-

пускаемых и реализуемых изделий линии общих затрат и общего дохода пересекутся (см.рис.1). Точка этого пересечения на оси абсцисс имеет следующую координату:

$$N_1 = \frac{K_{\text{и}}}{C_{\text{и}} - C_{\text{и}}} \quad (3)$$

До величины N_1 предприятие несёт убытки в связи с компенсацией сделанных к этому моменту общих затрат, а при $N \geq N_1$ начинает получать текущую прибыль. Следует отметить, что получить полную компенсацию абсолютных общих затрат абсолютным общим доходом данное предприятие может только тогда, когда оно произведёт и реализует большее чем N_1 количество изделий, которое обозначим через N_{min} (рентабельная программа выпуска машин). В случае прямолинейных зависимостей $Z_{\text{и}}$ и D от программы выпуска имеем следующее соотношение $N_{\text{min}} = 2N_1$ или с учетом (3):

$$N_{\text{min}} = \frac{2K_{\text{и}}}{C_{\text{и}} - C_{\text{и}}} \quad (4)$$

Так как, начиная с величины N_{min} , рассматриваемое предприятие начнёт получать абсолютную прибыль, то это значение является нижней границей для определения его производственной программы.

Анализ выражения (4) показывает, что рентабельная программа выпуска определяется разностью между ценой изделия и его себестоимостью, или, что то же самое, прибылью от продажи изделия. Чем больше эта разность, тем меньше N_{min} , и, наоборот, при приближении цены машины к её себестоимости производства резко возрастает рентабельная программа выпуска.

Величина N_{min} определяет то количество изделий, реализация которого на рынке позволяет компенсировать общие затраты на их производство. Предприятие начинает получать абсолютную прибыль при $N \geq N_{\text{min}}$, максимизация величины которой в условиях капиталистического способа производства является глобальной целью. В этой области возникает принципиально важная задача определения максимальной программы выпуска N_{max} , после достижения которой данное изделие снимается с производства. В основе её решения должен быть так называемый «моральный износ» машины. Впервые это понятие ввёл К. Маркс. В своём труде [2] он пишет: «Но кроме материального снашивания машина подвергается, так сказать, и моральному снашиванию. Она утрачивает меновую стоимость, по мере того как машины такой же конструкции начинают воспроизводиться дешевле или лучшие машины вступают с ней в конкуренцию. В обоих случаях, как бы ещё нова и жизнеспособна ни была машина, её стоимость определяется уже не тем рабочим временем, которое фактически осуществлено в ней, а тем, которое необходимо для воспроизводства её самой или для воспроизводства лучшей машины. Поэтому она более или менее утрачивает свою стоимость. Чем короче период, в течение которого воспроизводится её стоимость, тем меньше опасность морального снашивания...».

Следует отметить, что термин «моральный износ», как и все основные понятия политической экономии, является нечетко определенным. Поэтому в дальнейшем под ним будем понимать календарный период времени начиная от момента выпуска первого экземпляра новой машины до момента снятия данной модели с производства.

Если обозначить через $T_{\text{м}}$ период «морального износа» изделия в условных единицах времени (у.е.в.), то максимальную производственную программу можно выразить отношением:

$$N_{\text{max}} = \frac{T_{\text{м}}}{t_{\text{д}}} \quad (5)$$

где $t_{\text{д}}$ – интервал времени, через который производится выпуск изделий (такт выпуска), у.е.в.

На рис.1 верхняя линия N_{max} ограничивает область абсолютной прибыли, а нижняя, как это следует из вышеизложенного, имеет нулевой предел по линии N_{min} . Если эти величины известны, то для прямолинейных зависимостей размер получаемой прибыли Π соответствует площади перекрёст-

но заштрихованной зоны (см.рис.1). После интегрирования этой области с учётом выражения (4) получена следующая формула для расчёта величины абсолютной прибыли:

$$\Pi = N_{\max} [0,5 N_{\max} (\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}}) - K_{\text{и}}] . \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что прибыль предприятия будет возрастать с увеличением N_{\max} и разницы между ценой изделия и его себестоимостью, а также с уменьшением первоначальных капитальных вложений на организацию производства данных изделий. При этом величина N_{\max} является наиболее эффективным средством повышения абсолютной прибыли, так как она стоит в формуле (6) во второй степени.

Однако, как следует из выражения (5), увеличивать N_{\max} можно либо повышая период морального износа машины, либо уменьшая такт выпуска изделий. В современной экономике рынок в основном насыщен изделиями того или иного качества и в этих условиях увеличение периода «морального» износа $T_{\text{м}}$ затруднено. Наоборот, конкуренция приводит к сокращению «морального» срока службы той или иной конструкции изделий. Эту тенденцию отмечал ещё проф. Г.А. Шаумян [3].

Подставим выражение (5) в формулу (6):

$$\Pi = \frac{T_{\text{м}}}{t_{\text{д}}} \left[0,5 \frac{T_{\text{м}}}{t_{\text{д}}} (\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}}) - K_{\text{и}} \right] \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что при заданном значении периода морального износа машины прибыль машиностроительной фирмы будет обратно пропорциональна такту выпуска изделий. Таким образом, для достижения максимально возможной прибыли в пределах рассмотренных ограничений основным направлением является путь всемерного сокращения такта выпуска изделий. Исходя из цели достижения максимальной прибыли, соответствующее этому такту значения N_{\max} и будет являться расчётной производственной программой выпуска изделий.

С другой стороны, неограниченное снижение такта выпуска может привести к перепроизводству данной модели изделия с серьезными последствиями для предприятия-изготовителя. С нашей точки зрения нижний предел такта выпуска должен быть обусловлен плановой нормой прибыли, величина которой обеспечивает преимущество производственной фирмы не только перед конкурентами в этом же секторе рынка, но и перед производителями в других отраслях экономики с целью предотвращения оттока туда капиталовложений.

Пусть менеджментом предприятия задана норма прибыли Δ , как отношение величины прибыли к объёму продаж [6], то есть $\Delta = \Pi / D$. Тогда с учётом (6) и (2) величина максимально допустимой программы выпуска будет равна

$$N_{\max} = \frac{2(\Delta \Pi_{\text{и}} + K_{\text{и}})}{\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}}}, \text{ шт.}$$

Оптимальная (она же и минимальная) величина такта выпуска изделий, соответствующая этой программе, определится из (5) выражением

$$t_{\text{д.опт.}} = \frac{T_{\text{м}} (\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}})}{2(K_{\text{и}} + \Pi_{\text{и}} \Delta)}, \text{ у.е.в.} \quad (8)$$

Это значение должно стать основой для организации технологии производства заданного изделия машиностроения. Для условий функционирования конкретного машиностроительного предприятия значение такта выпуска по формуле (8) должно быть скорректировано с учётом организационных потерь времени, не включаемых в нормированные затраты труда.

2. Экономическое обоснование необходимости массового быстросменного производства

Проблема «безболезненного» перехода на выпуск нового изделия машиностроения является одной из основных для фирмы-изготовителя, так как от эффективности осуществления этого мероприятия в полной мере зависят величина вынужденного простоя основного производства и связанные с этим финансовые потери предприятия.

В настоящее время известны несколько способов перехода на новые модели машины [4]: с полной остановкой производства на период реконструкции; параллельный метод перевода; «безостановочный» метод; реинжиниринг в условиях гибкого производства. Эти способы перевода основного производства на выпуск нового изделия имеют один общий недостаток – это стремление организо-

вать новое производство на месте прежней производственной базы. К. Маркс по поводу смены средств производства пишет следующее [2]: «Благодаря прогрессу промышленности в средствах труда совершаются постоянные перевороты. Поэтому они возвращаются не в своей первоначальной форме, а в форме, претерпевшей переворот. С одной стороны, то обстоятельство, что масса основного капитала вкладывается в дело в определённой натуральной форме и должна просуществовать в ней известный срок жизни, служит причиной того, что новые машины и т.д. вводятся лишь постепенно, а потому является помехой быстрому и повсеместному введению усовершенствованных средств труда. Но, с другой стороны, конкурентная борьба, в особенности во время решающих переворотов, заставляет заменять старые средства труда ещё до их смерти новыми средствами труда. Катастрофы, кризисы – вот что главным образом принуждает к такому преждевременному обновлению оборудования предприятий в широком общественном масштабе».

Данное положение было уже детально рассмотрено профессором Г.А.Шаумяном [3]. «Сроки службы техники не всегда определяются её физической долговечностью. Чаще всего они определяются качеством выпускаемой продукции, требования к которому постоянно растут, заставляя модернизировать или вовсе заменять выпускаемую продукцию... Можно сказать, что качество технологических машин определяется тем, насколько с их помощью производят больше, лучше и дешевле. Как видим, качество и массовость входят в противоречие, так как первое требует непрерывно совершенствовать продукцию (быстросменность производства), а второе – постоянство выпуска продукции данного качества... Таким образом, быстросменность производства – это признак, присущий не только мелкосерийному производству, как это принято считать, а характерный признак развития современной техники... необходимо видеть рождение нового вида производства со следующей характеристикой: *массовое быстросменное производство*... (курсив наш). Эта гигантской трудности задача должна быть решена для того, чтобы автоматизация из рычага технического прогресса не превратилась в его тормоз».

На наш взгляд, именно эта ситуация наблюдается в последние годы в отрасли мирового машиностроения. Отказ от автоматизации основного производства и переход на принципы гибкой технологии привёл, в конечном счёте, к снижению нормы прибыли в машиностроении по сравнению с остальными сферами производства продукции, а, следовательно, к оттоку капитала в другие отрасли и даже к его выводу из производственного цикла. Исправить это положение и вернуть привлекательность механической технологии для капиталовложений можно лишь, резко повысив прибыльность машиностроительной промышленности.

Из п.1 следует, что момент перевода производства на выпуск нового изделия должен совпадать с периодом морального износа T_m выпускаемой машины. Определение величины T_m является важной задачей маркетинговых исследований рынка, и она должна быть известна до начала производства того или иного изделия, так как по ней рассчитываются оптимальная программа выпуска и объём ожидаемой прибыли [1].

Так что же мешает одновременно со снятием изделия с выпуска полностью обновить производственную базу машиностроительного предприятия? Ответ очевиден – это разные экономически обоснованные сроки службы оборудования, которые, как правило, превышают период морального износа изготавливаемого изделия. Отсюда следует очень важный для стадии изготовления машины вывод: *оптимальный срок службы материальной производственной базы, включая оборудование, оснастку и другие средства технологического оснащения, должен быть равен периоду морального износа выпускаемого изделия*. Если принять это положение за основу, тогда выработанный в работе [1] подход для стадии эксплуатации машины полностью применим и для оптимизации процесса её изготовления. С одним лишь различием, которое заключается в том, что под изделием здесь понимается не отдельно взятая машина, а весь комплекс литейного, кузнечно-прессового, металлорежущего, сборочного, подъёмно-транспортного и иного вспомогательного оборудования и оснастки, используемого для изготовления изделий определённой конструкции.

Исходя из изложенного, удельные приведенные затраты на стадии производства должны рассчитываться по формуле [1]:

$$Z_{\text{пр}} = C_{\text{пр}} \tau + \frac{K_u}{\tau + 1} ; \frac{\text{у.е.с.}}{\text{у.е.в.}} \quad (9)$$

где $K_{и}$ – капитальные вложения на строительство и организацию производства новой машины, (у.е.с.); $C_{пр}$ – коэффициент текущих затрат на обслуживание функционирования производства, у.е.с./у.е.в.².

Минимум затрат по выражению (9) должен соответствовать периоду морального износа данной конструкции машины $T_{м}$. Тогда из формулы (9) получим следующие выражения для:

– величины морального износа

$$T_{м} = \sqrt{\frac{K_{и}}{C_{пр}}}; \quad (10)$$

– оптимальной величины капитальных вложений в производство

$$K_{и.опт} = C_{пр} T_{м}^2. \quad (11)$$

Если подставить (11) в формулу (7), получим выражение для расчёта прибыли машиностроительной фирмы, которая функционирует в соответствии со сформулированным выше принципом оптимального перехода на производство новой машины (полная замена производственной базы в момент смены выпускаемого изделия):

$$\Pi = \frac{T_{м}}{t_{д}} \left[0,5 \frac{T_{м}}{t_{д}} (\Pi_{и} - C_{и}) - C_{пр} \cdot T_{м}^2 \right]. \quad (12)$$

На рис.2. приведены результаты расчётов прибыли по формуле (12) в зависимости от величины морального износа машины и такта её выпуска для следующих условий: цена изделия $\Pi_{и}=1000$ у.е.с.; себестоимость изделия $C_{и}=800$ у.е.с.; коэффициент текущих производственных затрат $C_{пр}=10$ у.е.с./у.е.в.². Из него следует, что для каждого значения такта выпуска существует максимум прибыли и соответствующее ему оптимальное значение времени морального износа машины. Если взять производную по $T_{м}$ от выражения (12) и приравнять её к нулю, то получим

$$T_{м.опт} = \frac{\Pi_{и} - C_{и}}{3 \cdot C_{пр} \cdot t_{д}}; \text{ у.е.в.}, \quad (13)$$

то есть оптимальное значение морального износа изделий определённой конструкции при прочих равных условиях обратно пропорционально такту их выпуска. Когда же в качестве исходного данного фигурирует величина $T_{м}$, можно рассчитать оптимальную величину такта выпуска, обеспечивающую максимальную прибыль:

$$t_{д.опт} = \frac{\Pi_{и} - C_{и}}{3 \cdot C_{пр} \cdot T_{м.опт}}; \text{ у.е.в.} \quad (14)$$

Заметим, однако, что чем меньше $T_{м.опт}$, тем меньше величина максимальной прибыли, которую может получить данное предприятие (см.штриховую линию на рис. 2.).

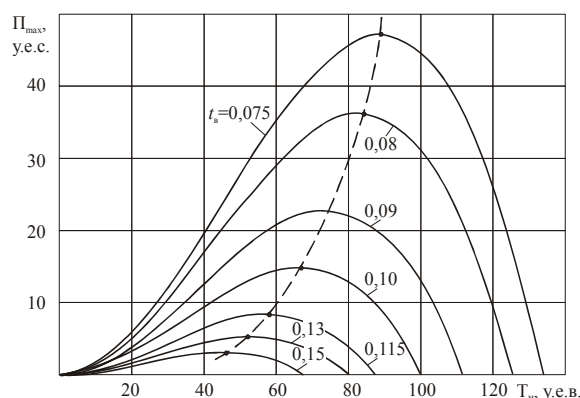


Рис. 2. Влияние периода морального износа машины и такта выпуска на максимальную прибыль предприятия: $\Pi_{и} = 1000$ у.е.с.; $C_{и} = 800$ у.е.с.; $C_{пр} = 10$ у.е.с./у.е.в.²

Подставив выражение (13) в (12) получим формулу для расчёта максимальной прибыли:

$$\Pi_{\max} = \frac{(\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}})^3}{54 \cdot C_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{д}}^4}; \text{ у.е.с.} \quad (15)$$

В выражении (15) по сравнению с (12) Π_{\max} также обратно пропорциональна такту выпуска, но уже не во второй, а в четвёртой степени. Из (15) следует, что для получения максимальной прибыли необходимо: повышать разницу между ценой изделия и его себестоимостью; сокращать текущие издержки производства; уменьшать такт выпуска изделий. Если первые два пути являются традиционными и не вызывают сомнений у предпринимателей, то третий путь повышения прибыли требует более тщательного анализа по ряду причин.

Во-первых, зависимость между тактом выпуска и максимальной прибылью самая интенсивная (в четвёртой степени) и это свидетельствует о том, что наиболее эффективное средство повышения прибыльности предприятия заключено во всемерном снижении такта выпуска. Так из рис. 2 следует, что при снижении $t_{\text{д}}$ в два раза (с 0,15 у.е.в. до 0,075 у.е.в.) максимальная прибыль возросла почти в 16 раз (с 2,9млн.у.е.с. до 46,8 млн. у.е.с.).

Во-вторых, согласно выражению (13), уменьшение $t_{\text{д}}$ автоматически приводит к возрастанию оптимальной величины периода морального износа машины, который определяется в первую очередь степенью эффективности и конкурентоспособностью конструкции машины.

Таким образом, для обеспечения максимальной прибыли (см.рис.2), одновременно должны выполняться условия (13) и (14). Выражаясь по-другому, должна быть проведена одновременная оптимизация этапа проектирования машины через $T_{\text{м.опт}}$ и этапа её изготовления через $t_{\text{д}}$. Отсюда следует вывод: *конструкция машины и технология её изготовления тесно экономически взаимосвязаны между собой через максимально возможную прибыль.*

Следует отметить, что изложенное выше справедливо для производства, построенного на принципе оптимальной замены выпускаемых изделий. Как практически можно осуществить данный переход на выпуск новых машин без значительных потерь? Для этого, на наш взгляд, производственная база машиностроительного предприятия должна быть разделена на две равноценные части, из которых в данный момент времени функционирует одна, выпускающая традиционные изделия. В это же время во второй части происходит создание и оснащение производства для выпуска нового изделия с заранее определённым тактом выпуска. В момент достижения первой машиной морального износа происходит быстрый переход на выпуск новой машины, а прежнее производство подлежит полному демонтажу с последующей организацией производства более перспективного изделия. То есть на предприятии должны быть одновременно две параллельные производственные базы. Этот вариант позволит успешно разрешить поставленную профессором А.Г. Шаумяном проблему организации массового быстросменного производства.

Для устойчивого функционирования основного производства необходимо создание соответствующей материальной базы вспомогательного производства, основная задача которого заключается в проектировании и изготовлении средств технологического оснащения для производства новой машины. Причем эта работа должна вестись систематически в постоянном режиме, чтобы обеспечить оптимальный переход на выпуск более совершенного изделия. Так как в этой производственной сфере тип производства соответствует единичному и мелкосерийному характеру, то здесь целесообразно широкое применение принципов гибкой технологии. Мощное инструментальное и опытное производство должно служить третьей (основой) опорой современного машиностроительного предприятия и обеспечить тем самым устойчивость и высокую рентабельность машиностроения.

ВЫВОДЫ:

- Количество подлежащих изготовлению изделий необходимо рассчитывать на основе плановой прибыли и конкурентного уровня рентабельности предприятия-изготовителя.
- Основой для проектирования технологии производства машины должна быть оптимальная величина такта выпуска, а не тип производства.
- С целью быстрого и «безболезненного» перехода на выпуск новой машины срок службы основного технологического оборудования должен быть равен периоду морального износа выпускаемого изделия.

- Конструкция машины и её технология изготовления тесно экономически взаимосвязаны между собой. Для обеспечения максимально возможной прибыли предприятия необходимо, чтобы такт выпуска машины соответствовал её периоду морального износа.

Литература.

1. Петрушин С. И., Губайдулина Р. Х. Организация жизненного цикла изделий машиностроения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 200 с.
2. Маркс К. Капитал. Критика политической экономики. Том 1. Процесс производства капитала. – Л.: Гос. изд. полит. литературы, 1949. – 794 с.
3. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.
4. Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х. Оптимизация перехода на производство новой продукции машиностроения. // Вестник машиностроения. – 2011. – №12. – С. 80-85.
5. Petrushin S. I., Gubaidulina R. K., Grubiy S. V. Optimization of Products Life Cycle // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 770. - p. 662-669
6. V.A. Petrova, A.A. Bakanov, A.V. Walter. Crack Resistance of Weld Seals, Hardening Methods and Composite Tools Quality // Applied Mechanics and Materials. vol. 682 (2014). pp.431- 437.
7. N. A. Saprykina, A. A. Saprykin, Influence of Layer-by-layer Laser Sintering Modes on the Thickness of Sintered Layer of Cobalt-chromium-molybdenum Powder, Applied Mechanics and Materials. 1040. (2014).pp.808-811.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ**

А.К. Абкарян, Ю.И. Гордеев, В.С. Громов

Сибирский федеральный университет

E-mail: abkaryan_artur@mail.ru

Методика и аппаратура исследований. Для получения твердосплавных и керамических композитов в работе использовались нанопорошки полученные методом ударно-волнового синтеза.

Приготовленные смеси использовались для изготовления штабиков для проведения испытаний на изгиб (ГОСТ 20019-94), резовых пластин формы 0227 (ГОСТ 25395-92), четырехгранных и пятигранных резовых пластин (ГОСТ 19052-90, ГОСТ 19065-90), твердосплавных оправок и волок для определения коэффициента стойкости, таблеток Ø10х10 мм для измерения твердости, трещиностойкости по методу Палмквиста (K_{IC}) и износостойкости, изучения микроструктуры.

На образцах разработанных материалов измерялись следующие физико-механические характеристики: в процессе спекания путем непрерывного фиксирования изменения линейных размеров образца измерялась усадка на dilatометре DIL 402; на спеченных образцах – плотность гидростатическим методом на трех образцах от партии по ГОСТ 20018-74; коэрцитивная сила на приборе “Кобальт” в соответствии с ГОСТ 24916-81; твердость по Роквеллу HRC- на приборе ТК с твердосплавными мерами на двух - трех образцах от партии по ГОСТ 20017-74; модуль упругости (модуль Юнга), внутреннее трение, предел прочности на изгиб, твердость по Виккерсу и коэффициент трещиностойкости (K_{IC}) по методу Палмквиста на микротвердометре ТП-7Р-1 путем измерения длины трещины, распространяющейся от угла отпечатка пирамидки Виккерса (нагружение при испытании 100, 200, и 300 Н); предел прочности на изгиб определялся в соответствии с требованиями ГОСТ 20019-74; анализ микроструктуры образцов твердосплавных и керамических композитов проводился на растровом электронном микроскопе HITACHI TM 1000 и растровом электронном микроскопе JEOL JSM-7001F с энергодисперсионным и волновым спектрометрами и комплектом пробоподготовки: автоматический пресс для запрессовки образцов Buehler Simpli Met 3000 прецизионный отрезной станок Buehler Iso Met 5000

Эксплуатационные и стойкостные испытания твердосплавных инструментов проводились по методикам НТЦ Кировградского завода твердых сплавов. Для получения достоверных данных о влиянии наочастиц на свойства твердых сплавов, каждая серия испытаний (начиная с подготовки исходных порошков) сопровождалась параллельным изготовлением контрольных образцов стандартных сплавов. Были проведены исследования твердых сплавов марок ВК6, ВК8, ВК10КС, ВК15, Т15К6, КНТ16, ЛЦК20, ТН20 – в сравнении с образцами аналогичных базовых составов, модифицированных добавками ультрадисперсных частиц оксида алюминия.